

В. М. Колодкин¹, Д. В. Варламов²

(Институт гражданской защиты (Удмуртский государственный университет);
e-mail: kolodkin@rintd.ru)

ОСОБЕННОСТИ СОЦИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СПАСЕНИЯ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ В ОБЩЕСТВЕННОМ ЗДАНИИ

Предложен метод проектирования системы спасения людей при пожаре в общественном здании. Введено понятие эффективности системы управления эвакуацией. Эффективность системы оценивается по результатам моделирования процессов пожара и эвакуации людей из горящего здания. Реализация системы предполагает измерительный мониторинг характеристик среды в здании и измерительный мониторинг распределения людей. При пожаре непрерывно рассчитываются и доводятся до людей в здании траектории эвакуации с учётом данных мониторинга. Система работает в автоматическом режиме.

Ключевые слова: управление эвакуацией, моделирование эвакуации, автоматический режим, социотехническая система.

Введение

Количество погибших при пожарах в России, несмотря на снижение в последние годы остаётся достаточно значимым. По этому показателю Россия значительно опережает другие страны [1]. Это означает, что существуют системные недоработки в обеспечении пожарной безопасности, в том числе, в общественных зданиях. Возможной причиной сложившейся ситуации являются экономические условия в стране. В то же время, средний ущерб от пожаров по странам мира достигает величины порядка одного процента от ВВП (Валового национального продукта) страны [2], то есть потери весьма существенные. В этой связи, весьма значимы усилия, направленные на уменьшение ущербов, связанных с пожарами.

Актуальность работы обусловлена проектированием и массовым строительством общественных зданий со сложными архитектурно-планировочными решениями. В этих зданиях люди не всегда хорошо ориентируются, особенно в условиях пожара. Люди затрудняются с принятием решений, так как обычно у людей недостаточно информации и времени на принятие обоснованных решений.

Проблема поиска улучшающих вмешательств

Актуальной задачей является поиск решения проблемы повышения пожарной безопасности в условиях финансовых ограничений. Так как пожар в зданиях с массовым пребыванием людей почти всегда связан с эвакуацией, то одной из задач является построение системы, обеспечивающей спасение людей путём эвакуации их из горящего здания. По принятой классификации данная задача решается *системой оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ)*. Отметим, что общественные здания изначально оснащены СОУЭ того или иного типа. Проектирование новых общественных зданий сопровождается проектированием СОУЭ. Поэтому речь идёт о совершенствовании системы.

В настоящее время практически не существует технических задач, связанных с обеспечением безопасности людей в здании, которые было бы невозможно решить. Однако проблем в обеспечении безопасности много, зданий много, а ресурсов для обеспечения безопасности не всегда хватает. Вместе с тем, последние годы ознаменовались весьма существенными достижениями в развитии систем на базе микроконтроллеров, которые на три-четыре порядка дешевле по стоимости соответствующих средств вычислительной техники. Характеристики микроконтроллерных систем позволяют ставить новые задачи в области обеспечения пожарной безопасности. В частности, ставить задачу разработки автоматической системы управления эвакуацией. Необходимо иметь в виду, что проблема обеспечения безопасности людей в здании носит комплексный характер. Зачастую решение одной проблемы обеспечения безопасности противоречит успешному решению другой проблемы. Например, интересы службы охраны здания, требующие закрытия неконтролируемых выходов из здания, противоречат требованиям службы пожарной безопасности. Поэтому задача формулируется следующим образом – найти улучшающие вмешательства (то есть вмешательства, чтобы никому не было хуже), обеспечивающие эффективное спасение людей при пожаре в общественном здании в условиях ограниченных финансовых ресурсов. Решение лежит в области создания *социотехнической системы* (далее – *Система*), предназначенной для спасения людей. Системы, которая обеспечивает требуемый функционал и отвечает заданным ограничениям. Система призвана:

- Обеспечить измерительный мониторинг состояния среды в горящем здании с тем, чтобы в режиме реального времени выделять те области здания, где пребывание людей оказывается неприемлемым, так как сопряжено с риском для их жизни и здоровья (опасные факторы пожара достигли предельно допустимых значений, или скорость роста значений опасных факторов пожара такова, что предельно допустимые значения скоро будут достигнуты). Измерительный мониторинг характеристик среды в здании также призван обеспечить детектирование пожара.

- В режиме реального времени прогнозировать безопасные и кратчайшие по времени траектории эвакуации людей из всех помещений здания до зон безопасности (динамическая адаптация маршрутов к изменяющимся условиям в здании). Актуальные траектории эвакуации должны в режиме реального времени доводиться до людей, оказавшихся в горящем здании.

- Обеспечить измерительный мониторинг распределения людей по зданию с целью корректировки траекторий эвакуации. Также по данным измерительного мониторинга контролируется наличие людей в помещениях здания.

- Предоставить людям возможность воспользоваться средствами индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре, если в этом возникла или прогнозируется необходимость.

Отметим, что цель Системы определяет её состав и структуру [3]. Например, состав и структура изменятся, если цель Системы – нахождение эксплуатационных ограничений в здании (в каких помещениях ограничено пребывание людей из условия их безопасности при возникновении пожара). В частности, эксплуатационные ограничения могут определяться условиями, что величина пожарного риска для людей в здании не превышает нормативных значений [4].

Как было отмечено, пожар в общественном здании почти всегда сопровождается эвакуацией. Поэтому процесс эвакуации исследовался весьма детально. В частности, в диссертационной работе [5] рассмотрен широкий круг вопросов эвакуации и поведения людей при пожарах; в диссертационной работе [6] детально рассмотрены вопросы поддержки управленческих решений при эвакуации лицом, уполномоченным принимать решения. Однако вопросы построения Системы, которая в автоматическом режиме адаптируется к изменяющимся условиям в горящем здании, которая непрерывно рассчитывает траектории эвакуации, которая указывает актуальные пути людям в горящем здании, пока не получили должного развития. По крайней мере, авторы не располагают информацией о подобных системах.

Таким образом, цели и задачи, стоящие перед социотехнической системой спасения людей при пожаре в общественном здании, определяют её основные особенности:

- функционирование в автоматическом режиме;
- измерительный мониторинг характеристик среды и распределения людей в здании;
- адаптация к изменениям окружающей среды в горящем здании;
- поддержка режима реального времени при проектировании кратчайших по времени и безопасных для человека путей эвакуации;
- помощь эвакуирующимся из горящего здания.

Структурная модель социотехнической системы спасения людей при пожаре в общественном здании

На рис. 1 представлена структурная модель системы спасения людей при пожаре. Каждый элемент Системы имеет свои характеристики, которые влияют на результаты работы всей Системы. Совместно эти элементы обеспечивают функциональные возможности системы. Выделены связи внутри Системы и связи с внешней средой (возмущающие факторы). Выделены ограничения, в рамках которых Система создаётся и функционирует.

В состав системы входят четыре основные подсистемы:

- подсистема сбора и актуализации *данных пространственно-информационной модели (ПИМ)* здания;
- подсистема мониторинга среды в здании;
- подсистема мониторинга реципиентов риска в здании;
- подсистема проектирования безопасных путей эвакуации и управления исполнительными механизмами.

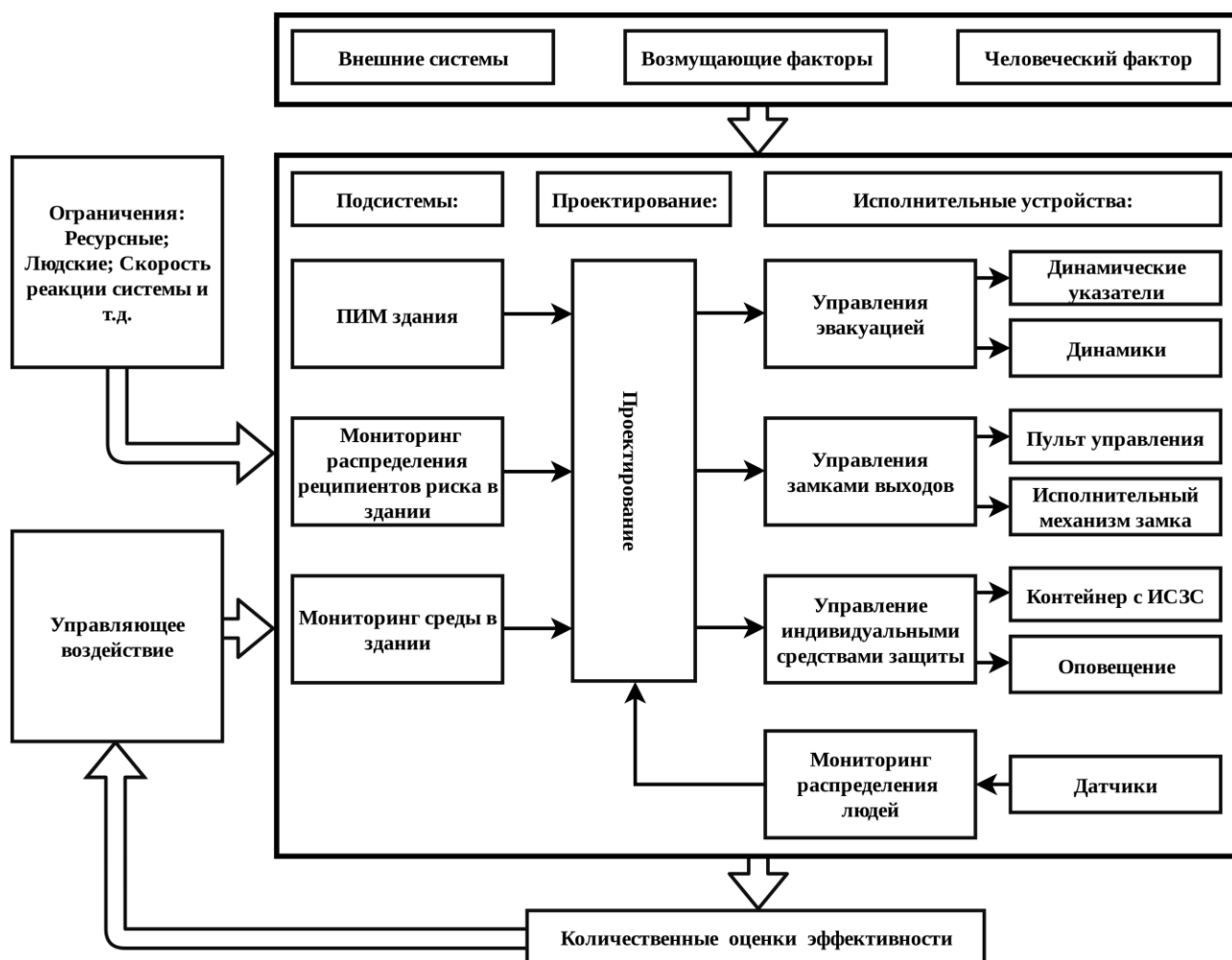


Рис. 1. Структурная модель социотехнической системы спасения людей при пожаре в общественном здании

Все подсистемы связаны между собой и только в единстве обеспечивают достижение цели системы.

Среди возмущающих факторов, воздействующих на социотехническую систему спасения людей, выделены факторы, отвечающие воздействиям:

- внешних систем (например, сигнал о пожаре, принятый сотрудниками объекта по телефонной связи);
- связанными с индивидуальными физиологическими и поведенческими особенностями людей.

Последнее воздействие характерно для социотехнических систем, где не всегда возможно прогнозировать поведение человека в экстремальных условиях пожара. Неадекватное поведение человека в условиях пожара может не соответствовать логике эвакуации. Поэтому возникает необходимость в контроле распределения людей по зданию и учёте их фактического распределения при проектировании путей эвакуации.

Подсистемой прогнозирования обеспечивается проектирование путей и предполагаемых характеристик процесса эвакуации с опережением на временной интервал Δt . По прошествии временного интервала Δt , корректируется распределение людей по результатам измерительного мониторинга реципиентов риска по зданию. Тем самым обеспечивается достоверность прогноза на следующий временной интервал.

В некоторых случаях возмущающие факторы весьма значительно влияют на структуру Системы. Например, анализ причин гибели людей при пожаре в торговом центре "Зимняя вишня" [7], когда часть эвакуационных выходов из здания при пожаре оказались закрытыми (человеческий фактор), обусловил необходимость включения в состав Системы исполнительных устройств по управлению замками эвакуационных выходов (автоматическое открытие замков при срабатывании системы пожарной сигнализации). Анализ причин гибели людей при пожаре в ночном клубе "Хромая лошадь" обусловил необходимость включения в состав системы исполнительных устройств управления индивидуальными средствами защиты и спасения. Например, устройств автоматического открытия контейнеров с самоспасателями при срабатывании системы пожарной сигнализации.

В ряду ограничений, которые являются внешними по отношению к системе, важно выделить: ресурсные (в том числе, экономические); людские (на кого ориентирована система: по возрасту, состоянию здоровья и т.д.); на скорость реакции системы. Последнее ограничение обусловлено тем, что процессы пожара и эвакуации развиваются во времени, то есть Система нестационарная. Скорость реакции Системы, в том числе, скорость расчёта путей эвакуации, должна опережать изменения состояния среды в здании во время пожара, то есть Система должна адаптироваться к изменяющимся условиям в здании.

Наиболее существенные ограничения – это экономические. Компромисс между функциональными возможностями и стоимостными показателями Системы фактически определяет её состав и характеристики компонентов. В данном случае, при проектировании системы использовалось ограничение: стоимость системы спасения людей должна соответствовать стоимости существующих СОУЭ четвертого-пятого типов.

Прототип Системы строится на базе унифицированных узлов общего назначения. Узел включает:

- плату с микроконтроллером (STM32 серии F0 или F1);
- набор цифровых входов и выходов;
- набор аналоговых входов.

В зависимости от назначения узла к нему добавляются:

- модуль электропитания (от сети переменного тока 220 В, от сети постоянного тока 5-24 В, от автономных батарей);
- проводные модули связи по протоколам CAN, SPI, RS-485;
- беспроводные модули связи NRF24L01 (частота 2,4 ГГц) для связи на короткие расстояния с большой пропускной способностью;
- модули связи на базе технологии LoRa (частота 433 МГц) для связи на большие расстояния с малой пропускной способностью.

Унифицированные узлы упрощают подключение контрольно-измерительных приборов мониторинга, исполнительных механизмов, что ускоряет разработку и удешевляет стоимость системы.

Оценка эффективности социотехнической системы спасения людей при пожаре в общественном здании

Провести натурный эксперимент с целью определения эффективности системы весьма затруднительно, поэтому оценка эффективности рассчитывается по результатам математического моделирования процессов пожара и эвакуации.

На рис. 2 представлена укрупнённая блок-схема алгоритма прогнозирования эффективности системы спасения людей из горящего здания. Алгоритм предусматривает создание ПИМ здания и математическое моделирование двух процессов: пожара и эвакуации.

ПИМ здания в цифровом виде описывает полную совокупность элементов виртуальных путей эвакуации и характеристик (в том числе, количество людей), относящихся к каждому из элементов [8]. Чем детальнее дискретизация пространства, тем точнее модель соответствует структуре здания, тем точнее описывается распределение людей по зданию, но и тем значительнее вычислительные ресурсы, требуемые для моделирования. Для целей данной работы, необходимо выделить два случая модельного описания структуры и характеристик элементов здания: представление здания в виде взвешенного двудольного графа (вершины графа – либо помещения, либо проёмы, в том числе, виртуальные, а рёбра – связи между вершинами графа); представление здания в виде совокупности разностных сеток – "сеточное представление" [9]. Как следует из работы [9], режим реального времени поддерживается представлением здания в виде взвешенного двудольного графа.

Интервал реального времени горения здания T разбивается на элементарные временные интервалы Δt . На каждом временном интервале Δt последовательно моделируются процессы пожара и эвакуации.

Моделирование пожара основано на полевой модели распространения опасных факторов пожара, которая реализована в открытом программном продукте FDS [10]. При моделировании эвакуации используются выражения для модулей скорости движения людских потоков [11] и алгоритм Дейкстры [12] для выбора направлений движений. Причём все участки путей эвакуации отвечают условиям безопасности человека [13].

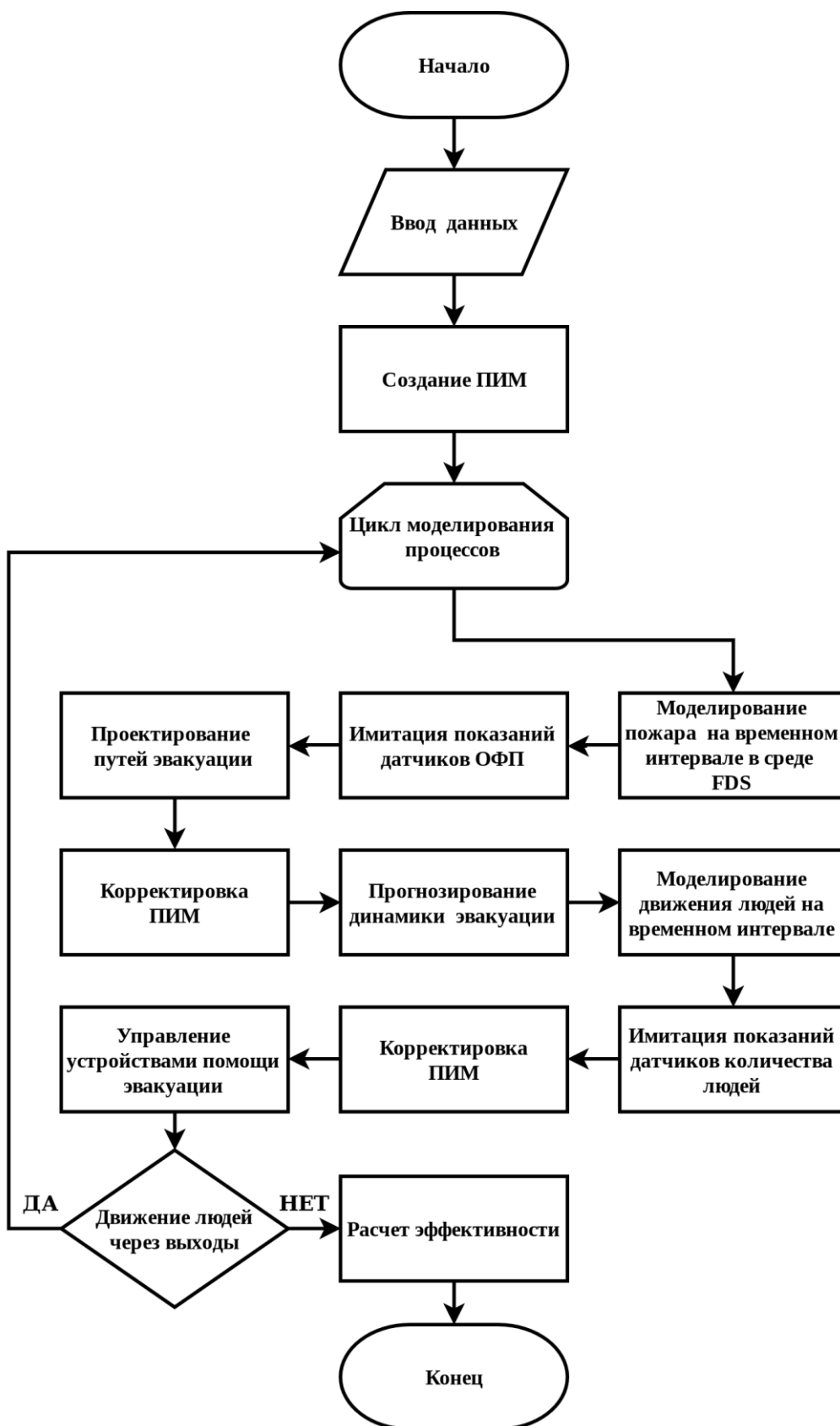


Рис. 2. Блок блок-схема алгоритма прогнозирования эффективности автоматической системы адаптивного управления эвакуацией

Процессы моделирования пожара и эвакуации не укладываются в рамки реального времени, так как используются весьма детальные ПИМ зданий и высокоточные алгоритмы прогнозирования последствий пожара и эвакуации на временных интервалах Δt . Время моделирования на несколько порядков превышает реальное время. В частности, если моделирование процесса пожара в здании производится на серверном оборудовании с характеристиками: сервер с двумя процессорами Intel Xeon CPU X5690, количество ядер – 6, по 2 потока на ядро (суммарно 24 потока на сервер), частота процессора – 3,47 ГГц, объём оперативной памяти 96 Гб, то время моделирования одного сценария пожара составляет несколько часов. Моделирование процесса эвакуации с использованием детальной ПИМ здания требует несколько меньших, но сопоставимых вычислительных ресурсов.

Цель моделирования процессов пожара и эвакуации – имитация показаний контрольно-измерительных приборов, регистрирующих значения опасных факторов пожара и характеристик распределений реципиентов риска по зданию на каждом временном интервале Δt . Эта информация непосредственно используется при проектировании путей эвакуации.

Таким образом, при оценке эффективности проектируемой социотехнической системы используются результаты моделирования. Процедура моделирования требует больших вычислительных ресурсов и применима на этапе проектирования системы. Функционирование социотехнической системы базируется на результатах измерительного мониторинга состояния среды и распределения людей в здании. Обработка данных мониторинга позволяет рассчитывать траектории эвакуации в режиме реального времени на микроконтроллерных системах.

Успешность функционирования системы характеризуется рядом характеристик. Среди характеристик системы важно выделить показатель эффективности, который зависит от величины предотвращённого ущерба, количества человек Δn , которые спасены из горящего здания за счёт функционирования системы спасения людей: $\Delta n = n - n_0$, где n , n_0 – количества людей, вышедших при пожаре из здания, оборудованном и не оборудованном системой адаптивного управления эвакуацией (системой спасения людей), соответственно. Полагаем, что все общественные здания, оборудованы СОУЭ того или иного типа. Показатель эффективности, как характеристика системы, измеряется по отношению к системе, не обладающей свойствами автоматической системы адаптивного управления эвакуацией с поддержкой помощи эвакуирующимся.

Отметим, что в общем случае целесообразно эффективность определять в категориях риска. Однако, в случае, если задача состоит в поиске улучшающих вмешательств, для определения эффективности удобнее использовать выражение: $F_i = \Delta n_i / N$, где N – количество человек, находящихся в здании на момент начала пожара, i – индекс сценария, $i \in [1 \dots m]$, где m – количество сценариев. Эффективность вычисляется для каждого сценария. Все характеристики эффективности рассчитываются для конкретного здания при $N = \text{const}$.

В случае автоматической системы адаптивного управления эвакуацией используются динамические указатели (аудиовизуальные системы) направления движения людей при пожаре, значения которых динамически формируются системой. В противном случае используются статические указатели. Их значения, в основном, отвечают заранее подготовленным планам эвакуации. При этом учитывается ограниченное число возможных сценариев пожара (выбираются наиболее опасные). Для конкретного здания сценарий определяется местом возникновения пожара, начальным распределением реципиентов риска и т.д. Численные значения показателей эффективности системы спасения людей изменяются от сценария к сценарию и варьируются в интервале от нуля до некоторого максимального значения $(\Delta n_i)_{\max}$.

Несмотря на то, что расчёт показателя эффективности требует больших вычислительных затрат, так как необходимо исследовать все значимые по последствиям сценарии, он позволит построить обратную связь (управляющее воздействие) при проектировании состава и функциональных возможностей системы. Для каждого сценария моделируется два варианта движения людей из горящего здания: эвакуация по заранее спроектированным путям (статический режим); эвакуация, где пути проектируются автоматической системой адаптивного управления эвакуацией с поддержкой помощи эвакуирующимся.

При проектировании системы во время поиска улучшающих вмешательств анализируются значения F_i , n_i и принимаются решения в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

**Принятие решений при проектировании системы
и поиске улучшающих вмешательств**

Значения характеристик эффективности	Рекомендуемые решения при проектировании системы
$F_i < 0$, хотя бы для одного значения $i \in [1 \dots m]$	Вмешательства понижают эффективность системы, что неприемлемо
$F_i = 0$, $(n_0)_i = N$, для $i \in [1 \dots m]$	Улучшающего вмешательства не требуется
$F_i = 0$, $(n_0)_i < N$, хотя бы для одного значения $i \in [1 \dots m]$	Требуется поиск улучшающего вмешательства
$F_i > 0$, $n_i = N$, для $i \in [1 \dots m]$	Улучшающее вмешательство при заданных ограничениях определено
$F_i > 0$, $n_i < N$, хотя бы для одного значения $i \in [1 \dots m]$	Требуется поиск улучшающего вмешательства

Представленный метод проектирования социотехнической системы и, при необходимости, поиск улучшающих вмешательств, применим для любого здания. Но его эффективность значима для общественных зданий со сложными объёмно-планировочными решениями.

Заключение

Цель работы – разработка метода для проектирования эффективной социотехнической системы спасения людей при пожаре в общественном здании. Требования по эффективности определяют общие характеристики режима функционирования социотехнической системы спасения людей:

- автоматический режим;
- измерительный мониторинг характеристик среды и распределения людей в здании;
- расчёт траекторий эвакуации с учётом данных измерительного мониторинга в режиме реального времени.

Необходимость улучшающих вмешательств в структуру социотехнической системы (автоматическое открытие замков аварийных выходов, открытие контейнеров с самоспасателями при срабатывании системы пожарной сигнализации) определяется по результатам прогнозирования эффективности с учётом данных табл. 1.

Литература

1. World Life Expectancy. <http://www.worldlifeexpectancy.com/>
2. Гибель на пожарах: статистика, анализ и основные показатели. <https://fireman.club/statyi-polzovateley/gibel-na-pozharax/>
3. *Нахтигаль Е. А.* Рассмотрение пожарной безопасности методами системного анализа // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22. № 4. С. 9-12.
4. *Колодкин В. М., Чирков Б. В.* Снижение пожарного риска в зданиях с массовым пребыванием людей // Проблемы анализа риска. 2016. Т. 13. № 1. С. 52-59.
5. *Самошин Д. А.* Методологические основы нормирования безопасной эвакуации людей из зданий при пожаре: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.03. М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. 357 с.
6. *Шихалев Д. В.* Информационно-аналитическая поддержка управления эвакуацией при пожаре в торговых центрах: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.10. М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. 176 с.
7. Крупнейшие пожары в России. Досье. <https://tass.ru/info/5065661>.
8. *Галиуллин М. Э.* Создание и использование пространственно-информационной модели здания (ПИМ) для расчёта величины риска при составлении декларации пожарной безопасности // Материалы IX всерос. конф. "Безопасность в техносфере". Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2015. С. 59-80.
9. *Колодкин В. М., Галиуллин М. Э.* Программные алгоритмы, реализующие модель движения людских потоков в системе управления эвакуацией людей из здания // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 10. С. 75-85. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.75-85.
10. *McGrattan K. B., McDermott R. J., Weinschenk C. G., Forney G. P.* Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Sixth Edition. NIST Special Publication. 1018-1. 2017. 177 p. DOI: 10.6028/NIST.SP.1018.
11. *Холщевников В. В., Самошин Д. А.* Эвакуация и поведение людей при пожарах: учеб. пос. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. 212 с.
12. Алгоритм Дейкстры нахождения кратчайшего пути. <https://prog-cpp.ru/deijkstra/>
13. *Колодкин В. М., Чирков Б. В.* Система адаптивного управления экстренной эвакуацией при пожаре в здании // Безопасность в техносфере. 2017. Т. 6. № 4. С. 58-65. https://doi.org/10.12737/article_5a2907cc4f32d7.65348137.

Материал поступил в редакцию 6 декабря 2018 г.

Для цитирования: *Колодкин В. М., Варламов Д. В.* Особенности социотехнической системы спасения людей при пожаре в общественном здании // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 1 (83). – 2019. – С. 101-112. DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.101-112.

V. M. Kolodkin, D. V. Varlamov

FEATURES OF THE SOCIOTECHNICAL SYSTEM OF SAVING PEOPLE IN CASE OF FIRE IN A PUBLIC BUILDING

This article proposes a method for designing a dynamic management system for evacuating people from a building in a fire. The method is based on the simulation of evacuation in each building. The problem of searching for improvement interventions is described. To find improvement interventions (that is, interventions that no one is worse), ensuring effective rescue of people during a fire in a building, in conditions of limited resources. The solution lies in the creation of a sociotechnical system designed to save people. The system is designed to:

1. Ensure environmental monitoring in the building.
2. Real-time prediction of safe and shortest escape routes.
3. To monitor the distribution of people in the building in real-time.
4. Provide people with the opportunity to use personal protective equipment.

The structural model of the system is described:

1. The subsystem for collecting and updating data of the spatial information model of a building.
2. Subsystem of monitoring of risk recipients in the building.
3. The subsystem monitoring the environment in the building.
4. The subsystem of designing safe escape routes and control of actuators.

All subsystems are interconnected and they achieve the goal of the system only in unity. The characteristics of the prototype system are described. An algorithm for evaluating the effectiveness of the rescue system, including the modeling of the movement of people and the simulation of a fire in a building, is presented.

Key words: evacuation management, design of evacuation routes, modeling.

References

1. World Life Expectancy. Available in: <http://www.worldlifeexpectancy.com/>
2. *Gibel' na pozharah: statistika, analiz i osnovnye pokazateli* [Death in fires: statistics, analysis and key indicators]. Available in: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/gibel-na-pozharax/>
3. Nachtigall E. Systems analysis methods for consideration of fire safety. *Pozharovzryvo-bezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 9-12 (in Russian).
4. Kolodkin V. M., Chirkov B. V. *Snizhenie pozharnogo riska v zdaniyah s massovym prebyvaniem lyudej* [Reduced fire risk in buildings crowded with people]. *Problemy analiza riska / Issues of risk analysis*, 2016, vol. 13, no. 1, pp. 52-59.
5. Samoshin D. A. *Metodologicheskie osnovy normirovaniya bezopasnoj ehvakuacii lyudej iz zdaniy pri pozhare* [Methodological bases of rationing of safe evacuation of people from buildings in case of fire]. Grand PhD in Tech. Sci. diss.: 05.26.03, Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2017, 357 p.
6. Shikhalev D. V. *Informacionno-analiticheskaya podderzhka upravleniya ehvakuaciej pri pozhare v torgovyh centrakh* [Information and analytical support for evacuation management in case of fire in shopping centers]. PhD in Tech. Sci. diss.: 05.13.10, Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015, 176 p.
7. *Krupnejshie pozhary v Rossii. Dos'e* [The largest fires in Russia. Dossier]. Available in: <https://tass.ru/info/5065661>.

8. Galiullin M. E. *Sozdanie i ispol'zovanie prostranstvenno-informacionnoj modeli zdaniya (PIM) dlya raschyota velichiny riska pri sostavlenii deklaracii pozharnoj bezopasnosti* [Creation and use of the spatial information model of the building for calculating the magnitude of risk in the preparation of a fire safety declaration]. *Materialy IX vseros. konf. "Bezopasnost' v tekhnosfere"* [Proceed. of IX All-Russian Conference "Safety in the technosphere"]. Izhevsk, Izhevsk Institute of Computer Science Publ., 2015, pp. 59-80.

9. Kolodkin V. M., Galiullin M. E. Software algorithms that implement the foot traffic model in the building evacuation management system. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 10, pp. 75-85. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.75-85 (in Russian).

10. McGrattan K. B., McDermott R. J., Weinschenk C. G., Forney G. P. *Fire Dynamics Simulator, Technical Reference Guide, Sixth Edition, NIST Special Publication, 1018-1*, 2017, 177 p. DOI: 10.6028/NIST.SP.1018.

11. Holshchevnikov V. V., Samoshin D. A. *Ehvakuaciya i povedenie lyudej pri pozharah: ucheb. pos.* [Evacuation and behavior of people during fires: tutorial]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2009, 212 p.

12. *Algoritm Dejksstry nahozhdeniya kratchajshhego puti* [Dijkstra's algorithm for finding the shortest path]. Available in: <https://prog-cpp.ru/deijkstra/>

13. Kolodkin V. M., Chirkov B. V. System for Adaptive Control of Emergency Evacuation in Case of Fire in a Building. *Bezopasnost' v tekhnosfere / Safety in the technosphere*, 2017, vol. 6, no. 4, pp. 58-65. https://doi.org/10.12737/article_5a2907cc4f32d7.65348137.

For citation: Kolodkin V. M., Varlamov D. V. Features of the sociotechnical system of saving people in case of fire in a public building. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 1 (83), 2019, pp. 101-112 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.101-112.